



TITLE:

地盤工学に基づく歴史的地盤構造物の修復と保存に関する研究(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

澤田, 茉伊

CITATION:

澤田, 茉伊. 地盤工学に基づく歴史的地盤構造物の修復と保存に関する研究. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19675>

RIGHT:

京都大学	博 士 (工 学)	氏名	澤田茉伊
論文題目	地盤工学に基づく歴史的地盤構造物の修復と保存に関する研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、歴史的地盤構造物である古墳の修復と保全を目的として、地盤工学に基づく修復・保全の新技术を開発した結果をまとめたものであって、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、歴史的地盤構造物としての古墳の種類、形状、構造の特徴と歴史的変遷について概説している。また、既往の修復と復元の事例を紹介し、従来適用されてきた手法に必ずしも地盤工学的見地からの合理的な技術が用いられていないことによる問題点を浮き彫りにするとともに、土構造物としての古墳の修復と保全に求められる地盤工学上のポイントを指摘し、研究の方向性について論じている。</p> <p>第2章では、古墳墳丘の力学的安定性を評価する際に必須となる、墳丘土の原位置密度とせん断強度を、史跡としての価値を損ねることなく測定する手法について論じている。古墳の調査にあたっては、一般の土木構造物とは異なり、文化財、史跡としての歴史的な価値、すなわち真正性を確保する必要があり、ボーリング調査や乱さない試料の採取といった墳丘形状を改変することが許されないため、非破壊、もしくは本質非破壊の試験法しか適用できないという厳しい制約が課せられる。本研究では、RI 密度計と針貫入試験という本質非破壊の試験法を導入し、発掘調査が実施される際に原位置で一連の原位置非破壊試験を実施することでデータを蓄積し、室内試験による較正試験を併せて行うことによって試験装置の品質向上を図り、信頼性の高い物理・力学情報を取得しうるスキームを開発した。また、RI 密度計で測定した原位置密度と突き固めエネルギーを変化させた室内締固め試験結果を比較することにより、古墳構築時に用いられた締固めエネルギーの推定を行い、古墳の修復時に構築する盛土の施工管理に適用できる基準を示した。</p> <p>第3章では、墳丘盛土の不安定化と崩壊の外的要因となる降雨による地盤内部への水分浸透を支配する墳丘土の水分保持特性を評価するための枠組みについて検討した。まず、土の水分保持特性を調べるための保水性試験装置を作製した。不飽和状態である古墳墳丘が有するサクションを、飽和に近い領域のごく小さなレベルから自然含水状態における 100kPa 程度までの領域で制御する必要があるため、水頭法と加圧板法がともに実施できる仕様を採用した。また、不飽和透水係数モデルと水分特性曲線モデルに関する検討を行い、Mualem の不飽和透水係数モデルと van Genuchten の水分特性曲線モデルを採用し、解析にあたって必要となる飽和－不飽和浸透流解析で用いられる支配方程式を説明するとともに、水理学的境界条件と初期条件の設定方法についての検討を行った。</p> <p>第4章では、降雨に関する古墳墳丘の力学的安定性の評価と確保を目的として、降雨によって表層崩壊を起こした奈良県高市郡明日香村の牽牛子塚古墳を取り上げ、降雨時の古墳墳丘斜面の安定性評価方法について検討した。古墳墳丘に適用可能な本質非破壊の針貫入試験によって健全な墳丘と崩壊を起こした脆弱化した表層部の強度を測定し、併せて発掘調査で得られた掘削土の飽和度を変化させた供試体に対する室内</p>			

京都大学	博 士 (工 学)	氏名	澤田茉伊
<p>一面せん断試験を実施し、飽和度の上昇に伴う墳丘土の強度低下挙動を実験的に明らかにした。また3章で述べた保水性試験によって墳丘土の浸透特性を明らかにした。墳丘内部の地層構造を弾性波探査によってモデル化し、一連の室内土質試験によって得られたパラメータを入力パラメータとして用い、実降雨記録を外力として浸透流解析と極限平衡法による安定解析を実施した。その結果、牽牛子塚古墳墳丘は降雨によって内部の飽和度が上昇し、水分増加に起因する表層土の重量増加と強度低下によって不安定化し、崩壊に至ることが確認された。提案手法によって実際に発生した古墳墳丘の崩壊現象が表現できることを明らかにすることにより、本章で提案した評価手法が妥当なものであることを実証した。</p> <p>第5章では、古墳内部に存在する埋葬施設への雨水の侵入を、土の力学特性を活用して抑止する手法について、模型実験と数値解析を用いて検討した。盛土構造物にとって排水は安定性に最も寄与する要因であるが、古墳の場合、これに加えて内部にある石室などの埋葬施設へ水が侵入することによって壁面の装飾や石材そのものに悪い影響を及ぼすという懸念があるため、雨水浸透対策は非常に重要となる。礫質土は高透水性で排水能力にも優れているため、墳丘周囲の暗渠排水などに用いられている例もあるが、本章では復元墳丘の最奥部に礫層を配し、その外側に細粒分を有する締固めに適した砂質土によって墳丘を構築する構造を念頭に置いて検討した。模型実験においては、墳丘層厚、地盤の傾斜勾配、雨量強度をパラメータとして、墳丘土と礫層境界における遮水現象を模型実験と数値解析によって考察し、飽和度の違いによって生じる礫層と墳丘土の透水係数の差異により、墳丘土に浸透した雨水が礫層との境界で下部礫層への浸透が抑制されることを明らかにした。またこの実験事実を飽和-不飽和浸透流解析によって妥当に再現することができ、提案する墳丘内部への雨水浸透の抑止効果を確認した。この技術は墳丘の土層構造に依るものであり、特別なメンテナンスを必要とせず長期間機能するものとして、実際にある古墳の修復・整備に際して導入されており、実践的なものとして広く活用されることが期待される。</p> <p>第6章では、墳丘土による内部埋葬空間の温湿度制御効果に関する内容であり、室内試験で熱拡散係数を測定することによって熱伝導率を求め、熱伝導方程式を用いて室内コラム試験の結果を正しく表現できることを示した。これにより、本章で適用した試験法が土の熱的性質を妥当に評価できるものであることを証明し、簡単な一次元地盤-石室-地盤モデルに気温の年変動履歴を与えた時の石室内部の温度変化のシミュレーションを実施した。墳丘層厚の熱遮蔽効果は大きく、1m厚くなるごとに温度変動が4割減少することと大気温度変動との位相差が1ヶ月遅れるという解析結果が得られ、同種の墳丘土で構築された高松塚古墳で測定された結果がこの解析値によって正しく評価できることを明らかにした。また、飽和蒸気圧と温度の関係から石室内における結露の発生についての検討を行い、墳丘層厚を大きくすることによって熱遮蔽効果が高くなり、墳丘内にある石室における結露発生量を低減する効果があることを明らかにした。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、史跡・文化財としての価値を有する古墳墳丘を、地盤工学的な調査、実験、数値解析を活用することにより、墳丘の力学的安定性、雨水浸透の防止と内部埋葬施設への被害軽減、ならびに外気温の変動に対して埋葬施設の温湿度環境をどのように制御すべきであるかについて研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 歴史的地盤構造物としての古墳は、真正性を損なわないために調査時に掘削などの改変が許されないという制約があるため、本質非破壊の原位置試験として、RI密度測定法と針貫入試験を導入し、非破壊試験である物理探査と合わせて実施することで原位置における古墳の構造を妥当にモデル化する手法を確立した。
2. 発掘調査残土を利用した室内土質試験によって古墳墳丘土の飽和-不飽和浸透特性、飽和度上昇に伴う強度低下を確認し、浸透流解析と極限平衡法による安定解析によって、実際に降雨に起因して崩壊した古墳墳丘の破壊現象を正しく表現できることを明らかにした。これにより、必要な原位置地盤調査とともに、適切な室内土質試験・数値解析による検討を行うことによって、現存する古墳墳丘の降雨時の安定性を評価・予測できる合理的な手法を提案した。
3. 古墳墳丘の復元、整備にあたり、力学的安定性を確保し、墳丘内部にある埋葬空間への雨水浸透を防止するという目標に対し、礫・締固め土の二重構造を持った墳丘の遮水効果について、模型土槽実験と浸透流解析によって検討した。模型実験と数値解析の両面から、下層の礫と上層の締固め砂質土の境界における不飽和透水係数の差異によって雨水を下部礫層に侵入させないというキャピラリーバリア効果が期待できることを示し、特別なメンテナンスを行うことなく、長期間にわたって遮水効果を確保できることを明らかにした。
4. 古墳内部には、埋葬施設である石室に装飾などが施されている場合があり、国宝級の価値を持つこともある。石室などの墳丘内部の埋葬空間が外気温の変動の影響を受けて、壁画や装飾が結露やカビなどの被害を受けることを防止するために、墳丘の熱遮蔽効果がどのように寄与するのかについて検討した。土の熱的性質を室内試験で把握し、そのパラメータを用いて実施した数値解析によって、墳丘層厚を厚くすることで外気温の影響を抑制できることを明らかにし、石室天井や床における結露の発生機構についても予測可能であることを示した。

以上のとおり、本論文は、土構造物である古墳墳丘に対し、従来十分に考慮されてこなかった地盤工学的知見と研究成果を援用することによって、学問的・技術的合理性を持った修復・保全手法を提案した先進的なものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 12 月 16 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。